



DEUTSCHES

PATENTAMT

12 Patentschrift
10 DE 196 26 671 C 1

21 Aktenzeichen: 196 26 671.8-35
22 Anmeldetag: 3. 7. 96
23 Offenlegungstag: —
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 16. 10. 97

51 Int. Cl.⁸:
H 01 L 41/083
H 01 L 41/24
H 05 K 7/20
H 02 N 2/04
H 01 L 23/34

DE 196 26 671 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

74 Vertreter:

Rauschenbach, M., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 01189
Dresden

72 Erfinder:

Gesemann, Hans-Jürgen, Dr., 09648 Seifersbach,
DE; Schönecker, Andreas, Dr., 01705 Freital, DE;
Keitel, Uwe, 01809 Heidenau, DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 41 13 667 A1
GB 13 31 763
JP 07-1 31 085 A
JP 07-0 94 797 A
JP 02-58 384 A

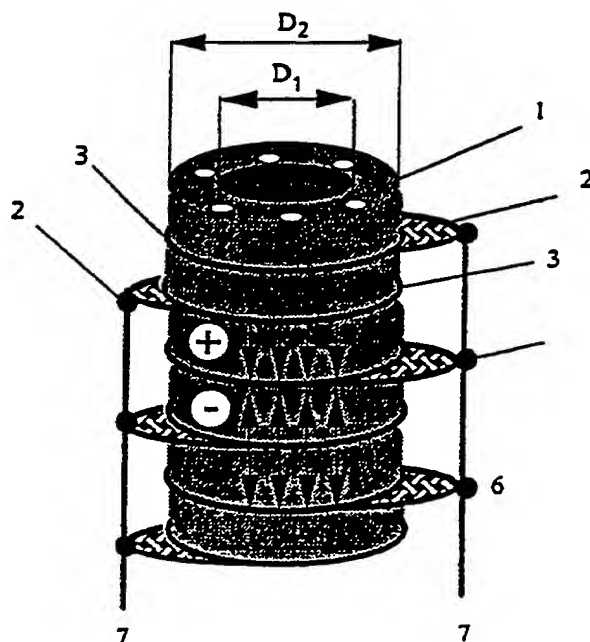
54 Piezoelektrischer Leistungsaktor mit Kühlung und Verfahren zu seiner Herstellung

57 Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der piezoelektrischen Werkstoffe und betrifft piezoelektrische Leistungsaktoren, wie sie z. B. für den Einsatz bei höheren Frequenzen (> 5 kHz) benötigt werden.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, einen Leistungsaktor anzugeben, mit dem hohe Leistungen umgesetzt werden können.

Die Aufgabe wird gelöst durch einen piezoelektrischen Leistungsaktor, bei dem ein Einzelelement aus einer gepolten ringförmigen PZT-Keramikplatte mit Kontaktmaterial besteht und mehrere Einzelelemente übereinander gestapelt sind und zwischen den Einzelelementen jeweils eine ringförmige Platte aus einem Metall oder einer Metallegierung fest angeordnet ist.

Weiterhin wird die Aufgabe gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Leistungsaktors, indem in eine Form abwechselnd Einzelelemente aus gepolten ringförmigen beidseitig kontaktierten PZT-Keramikplatten unter Beachtung der Polungsrichtung und ringförmige Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung eingebracht und fest miteinander verbunden werden.



Die Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der piezoelektrischen Werkstoffe und betrifft piezoelektrische Leistungsaktoren mit Kühlung, wie sie z. B. für den Einsatz bei höheren Frequenzen (> 5 kHz) benötigt werden und ein Verfahren zu deren Herstellung.

Piezoelektrische Werkstoffe zeigen beim Anlegen eines elektrischen Feldes eine Deformation. Diese Deformation wird in vielen Fällen für aktorische Stellbewegungen genutzt. Für größeren Hub werden auch größere Abmessungen benötigt, da bei einer Feldstärke von 2 kV/mm nur eine Deformation in der Größenordnung von $1,5\%$ erzeugt werden kann. Um bei langen Stellern nicht mit hohen Spannungen arbeiten zu müssen, sind viele Einzelplättchen mechanisch in Reihe, elektrisch aber parallel geschaltet. Die Dehnungen der Einzelplättchen mit relativ kleinen Spannungen werden aufsummiert, um eine hohe Gesamtdehnung zu erreichen. Eine solche "Säule" kann bis zu 500 Einzelplättchen enthalten. Die Kapazität ist dadurch außerordentlich hoch. Entsprechend der Gleichung

$$\text{Ladung (Q)} = \text{Kapazität (C)} \times \text{Spannung (U)}$$

sind die Ladeströme außerordentlich hoch. Das Prinzip der Spannungserniedrigung wird durch hohe Ladeströme erkauft.

Werden solche Aktoren im Impulsbetrieb eingesetzt (Ladung und Entladung in Folge), so ist die Einsatzfrequenz begrenzt. Die in schneller Impulsfolge zu und abfließenden "riesigen" Ladungsmengen erwärmen den Aktor, heizen ihn auf, bis er zerstört wird.

Die zur Zeit bekannten Aktoren werden im Impulsbetrieb meistens bei 100 Hz , aber höchstens bei 5 kHz (kleinere Spannungen) betrieben. Sie sind "säulenförmig" aus einem Weich-PZT-Werkstoff aufgebaut, das zwar eine relativ hohe Dehnung aber auch hohe Verluste besitzt.

Ein Aktor von einer Größe von $5 \times 5 \times 20 \text{ mm}^3$ besitzt folgende Verlustleistungen (Hoechst CeramTec, Katalog: Monolithische Vielschichtaktoren, 1995):

$5 \text{ Hz}; 180 \text{ Volt} \sim 0,025 \text{ W}$
 $1 \text{ kHz}; 180 \text{ Volt} \sim 8 \text{ W}$
 $5 \text{ kHz}; 180 \text{ Volt} \sim 25 \text{ W}$

Ein Aktor für höhere Frequenzen muß deshalb folgende Voraussetzungen erfüllen:

1. Er muß durch eine geringere Verlustleistung weniger Wärme erzeugen.
2. Die erzeugte Wärme muß abgeführt werden.

Die erstgenannte Voraussetzung kann durch den Einsatz eines Hart-PZT-Werkstoffes erfüllt werden, der eine kleinere Dielektrizitätszahl (weniger Ladungstransport) und niedrigere Verluste aufweist. Nachteilig ist jedoch, daß die Größe der Dehnung nur noch das $0,6$ -fache eines Weich-PZT-Aktors beträgt.

Die zweitgenannte Voraussetzung kann nur erfüllt werden, indem der Aktor umkonstruiert wird, damit die Wärme abgeführt werden kann.

Um die im Aktor erzeugte Wärme besser abführen zu können, wird eine Kühlung des Aktors notwendig.

Die Kühlung des Aktors kann unterschiedlich erfolgen:

a) Anbringung einer Masse, die genügend groß ist und eine hohe Wärmeleitfähigkeit (z. B. Cu) besitzt (DE 41 13 667);

b) herausragende wärmeabführende Teile, die eine Luftkühlung erfahren (JP 02-58 384 A, GB 13 31 763);

c) Kapselung des Aktuators mit Metallteilen mit Kühlkanälen, durch die eine Kühlflüssigkeit geschickt wird (JP 07-131 085 A, JP 07-094 797 A).

Die unter c) genannten Aktoren unterscheiden sich durch die Prinzipien verschiedener Kühlkreisläufe und stellen teure Elemente dar. Eine Herausführung der inneren Elektroden erfolgt weder innen noch außen.

Auch die unter b) aufgeführten Elemente können nicht befriedigen. Insbesondere ist das Prinzip des gekühlten Wandlers (GB 13 31 763) für Aktoren mit vielen Schichten nicht anwendbar, da die Kühlbleche mit den Nuten (Rillen), die die durchströmende Luft nach außen zusätzlich ableiten, viel zu aufwendig ist.

Der nächste Stand der Technik gegenüber der vorliegenden Erfindung wird in JP 02-58 384 A beschrieben. Dort wird das Grundprinzip der gestapelten Aktoren angewandt. Die Kühlung dieser Aktoren wird zwar einfach über herausgeführte Kühlbleche realisiert. Diese Konstruktion hat aber gravierende Mängel:

— Die Ableitung der Wärme aus dem Inneren des Aktors ist ungenügend.

— Die herausgeführten Kühlbleche sind in dieser Form (Durchbrüche für die Anschlüsse) nicht für Tauchlötungen geeignet. Es besteht Kurzschlußgefahr.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, einen Leistungsaktor mit Kühlung und ein Verfahren zu dessen Herstellung anzugeben, mit dem hohe Leistungen umgesetzt werden können, der auch bei Frequenzen oberhalb 5 kHz zufriedenstellend arbeitet und der bei einfacher Bauweise und Montage eine Wärmeabführung durch die Luft auch aus dem Inneren des Aktors ermöglicht.

Die Aufgabe wird durch die in den Ansprüchen angegebene Erfindung gelöst.

Bei dem erfindungsgemäßen piezoelektrischen Leistungsaktor mit Kühlung aus PZT besteht ein Einzelelement aus einer gepolten ringförmigen PZT-Keramikplatte mit Kontaktmaterial auf der Ober- und Unterseite der gepolten ringförmigen PZT-Keramikplatte. Mehrere derartige Einzelelemente sind übereinander gestapelt und zwischen den Einzelelementen ist jeweils eine ringförmige Platte aus einem Metall oder einer Metallegierung fest angeordnet. Die Bohrungen der ringförmigen Platte aus einem Metall oder einer Metallegierung stimmen zentrisch mit den Bohrungen in den Einzelelementen überein, wobei der Durchmesser der Bohrungen in den Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung jeweils kleiner ist als der Durchmesser der Bohrungen in den Einzelelementen. Weiterhin ist der äußere Durchmesser der ringförmigen Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung ganz oder teilweise größer als der äußere Durchmesser der Einzelelemente. Die Parallelschaltung des piezoelektrischen Leistungsaktors erfolgt über die Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung durch abwechselnde Verbindung an ihren äußeren Rändern.

Vorteilhafterweise ist der äußere überstehende Teil der Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung

gegenüber den Einzelelementen als Zunge ausgebildet, derart, daß die Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung die Form eines 270° Kreissegmentes mit gleichem äußeren Durchmesser wie die Einzelelemente haben, welches tangential in eine abgerundete Ecke von 90° ausläuft.

Es ist weiterhin von Vorteil, daß in den gepolten ringförmigen PZT-Keramikplatten und zentrisch dazu in den ringförmigen Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung weitere Bohrungen angeordnet sind, wobei der Durchmesser der Bohrungen in den PZT-Keramikplatten größer ist als der Durchmesser der Bohrungen in den Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung.

Zweckmäßig ist es auch, wenn die mittlere Bohrung und/oder die Bohrungen als Kanal für die Durchleitung eines strömenden Mediums verwendet sind.

Besondere Vorteile ergeben sich, wenn als PZT-Material ein "Hart-PZT-Material" insbesondere für den Einsatz bei höheren Frequenzen von ≥ 5 kHz eingesetzt ist.

Weiterhin werden erfindungsgemäß bei dem Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Leistungsaktors mit Kühlung aus PZT in eine Form mit einem zylindrischen oder quadratischen Querschnitt abwechselnd Einzelelemente aus gepolten ringförmigen beidseitig kontaktierten PZT-Keramikplatten unter Beachtung der Polungsrichtung und ringförmige Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung eingebracht und fest miteinander verbunden. Dabei stimmen die Bohrung in den Einzelelementen zentrisch mit der Bohrung in den Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung überein und der Durchmesser der Bohrung in den Einzelelementen ist größer als der Durchmesser der Bohrung in den Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung. Weiterhin werden ringförmige Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung mit einem ganz oder teilweise größeren äußeren Durchmesser als der äußere Durchmesser der Einzelelemente eingesetzt. Die Parallelschaltung des piezoelektrischen Leistungsaktors wird durch abwechselnde Verbindung der Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung an ihren äußeren Rändern durchgeführt.

Entsprechend einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden in die gepolten ringförmigen PZT-Keramikplatten und zentrisch dazu in die ringförmigen Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung weitere Bohrungen eingebracht, wobei der Durchmesser der Bohrungen in den PZT-Keramikplatten größer ist als der Durchmesser der Bohrungen in den Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung.

Eine besonders vorteilhafte Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß in eine quadratische Form abwechselnd Einzelelemente und ringförmige Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung eingebracht und miteinander fest verbunden werden, wobei der äußere überstehende Teil der Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung gegenüber den Einzelelementen als Zunge ausgebildet ist, derart, daß die Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung die Form eines 270° Kreissegmentes mit gleichem äußeren Durchmesser wie die Einzelelemente haben, welches tangential in eine abgerundete Ecke von 90° ausläuft und wobei die Zungen abwechselnd in einem Winkel von 90° oder 180° zueinander versetzt eingebracht werden und die jeweils in eine Richtung zeigenden Zungen kontaktiert und mit einer Steigleitung miteinander zu einer Parallelschaltung der Einzelelemente verbun-

den werden.

Eine weitere Ausgestaltungsmöglichkeit des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, daß die feste Verbindung der Einzelelemente mit den Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung durch Verkleben erfolgt.

Zweckmäßig ist es, wenn das Verkleben der Einzelelemente mit den Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung unter Druck durchgeführt wird.

Bei dem erfindungsgemäßen piezoelektrischen Leistungsaktor wird die entstehende Wärme vor allem beim Impulsbetrieb und bei höheren Frequenzen durch ein Kühlsystem wirkungsvoll abgeleitet. Dieses Kühlsystem besteht in den ringförmigen Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung, die in erster Linie als Kühlbleche wirken. Durch das Überstehen von Teilen dieser Kühlbleche in den Bohrungen und am äußeren Rand wird die entstehende Wärme aus dem Leistungsaktor nach außen abgeleitet. Für den Fall, daß diese Kühlung nicht ausreicht, können die vorhandenen Bohrungen als Kanäle für ein strömendes Medium, z. B. eine Kühlfüssigkeit dienen.

Weiterhin erfüllen die ringförmigen Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung noch einen weiteren Zweck; sie dienen als Elektroden und erleichtern die Kontaktierung des Leistungsaktors für die Parallelschaltung. Da sie am äußeren Rand überstehen ist eine Kontaktierung für eine Parallelschaltung technologisch wesentlich einfacher, als die bisherige Lösung bei Leistungsaktoren über die Kontaktflächen auf den Ober- und Unterseiten der keramischen Körper, die technologisch sehr aufwendig ist.

Als piezoelektrisches Material kann sowohl "Weich"- als auch "Hart"-PZT eingesetzt werden. Leistungsaktoren mit bisher bereits verwendetem "Weich"-PZT können durch die mögliche Kühlung in einem weiteren Frequenzbereich als bisher eingesetzt werden unter Beibehaltung der vergleichsweise großen Dehnung.

Erstmals ist es auch möglich "Hart"-PZT-Werkstoffe für Leistungsaktoren einzusetzen, die für einen wesentlich größeren Frequenzbereich als Leistungsaktoren mit "Weich"-PZT-Werkstoffen eingesetzt werden können. Ihre Dehnung ist aber nach wie vor nicht so groß.

Damit ein erfindungsgemäßer piezoelektrischer Leistungsaktor bestimmte Kräfte aufbringen kann, dürfen der Innendurchmesser D_1 der Bohrung in den Einzelelementen und der Innendurchmesser D_M der Bohrung in den Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung nicht zu groß gewählt werden; aber auch nicht zu klein, um eine ausreichende Kühlung zu gewährleisten.

Vorteilhaft ist ein Verhältnis von Innendurchmesser D_1 der Bohrung zu dem äußeren Durchmesser D_2 des Einzelelementes von

$$\begin{array}{c} D_1 \\ 0,6 \geq \frac{D_1}{D_2} \geq 0,3 \\ D_2 \end{array}$$

Für das Verhältnis von Innendurchmesser D_M der Bohrung in den Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung zum Innendurchmesser D_1 der Bohrung in den Einzelelementen gilt

$$D_M \sim \frac{D_1}{2}$$

Für das Verhältnis des Innendurchmessers D_M der Bohrung in den Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung zum Innendurchmesser D_3 der weiteren Bohrungen in den Einzelementen gilt

$$D_M \sim \frac{D_3}{2}$$

Ist der Leistungsaktor sehr groß und der Innendurchmesser sehr klein

$$\begin{aligned} D_1 \\ (— \sim 0,3) \\ D_2 \end{aligned}$$

und sollen besonders hohe Leistungen umgesetzt werden, so werden zweckmäßigerweise in den Einzelementen und in den Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung zusätzliche Bohrungen mit einem Innendurchmesser D_3 eingebracht, bei denen wiederum der Innendurchmesser D_3 der Bohrungen in den Einzelementen größer ist als der Durchmesser D_M der Bohrungen in den Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung. Der Durchmesser D_3 der weiteren Bohrungen in den Einzelementen soll dabei insgesamt nicht größer sein als

$$D_3 \sim \frac{D_2 - D_1}{3}$$

Bei einer solchen Konstruktion kann eine ausreichende Kühlung gewährleistet werden, die aber durch strömende Luft oder Kühlflüssigkeit in allen Bohrungen noch verbessert werden kann.

Weiterhin ist durch das erfindungsgemäße Verfahren eine außerordentlich sichere und einfache Montage der Leistungsaktoren möglich.

Die Einzelemente können aus gleichem Material und gleichen Abmessungen vorgefertigt und nach der vollständigen Beschichtung auf der Ober- und Unterseite mit Kontaktmaterial gepolt werden.

Weiterhin können die ringförmigen Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung aus dem gleichen Material und mit den jeweils gleichen Abmessungen ebenfalls vorgefertigt werden. Dabei sind die Durchmesser der Innenbohrung der Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung geringer als der Durchmesser der Innenbohrung der Einzelemente und der äußere Durchmesser der Platten aus einem Metall oder einer

Metallegierung hat beispielsweise eine Zunge, wobei die Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung über ein Kreissegment von 270° den gleichen äußeren Durchmesser wie die Einzelemente haben und dann davon tangential ausgehend in eine abgerundete Ecke von 90° auslaufen.

Danach wird in eine beispielsweise quadratische Teflonform, deren Kantenlänge nur wenig größer als der äußere Durchmesser der Einzelemente ist, zuerst ein Einzelement und anschließend immer abwechselnd eine Platte aus einem Metall oder einer Metallegierung mit einer Zunge und ein entgegengesetzt gepoltes Einzelement eingebracht. Die Einzelemente und die Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung werden durch eine Klebstoff fest miteinander verbunden. Die Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung werden dabei abwechselnd mit ihrer Zunge um 180° zueinander in die gegenüberliegende Ecke der quadratischen Form angeordnet. Nach der Aushärtung des Klebstoffes kann der Leistungsaktor aus der Form genommen werden und die jeweils in eine Richtung zeigenden Zungen der Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung werden durch Eintauchen in ein Lot benetzt und dabei mit einer Steigleitung verbunden. Damit ist eine einfache technologische Lösung zur Herstellung der Parallelschaltung gegeben.

Durch dieses erfindungsgemäße Verfahren ist eine Verschiebung oder Dejustierung der Bohrungen zueinander ausgeschlossen.

Um eine sichere Verklebung der Einzelemente mit den Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung zu gewährleisten, ist es zweckmäßig die Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung an ihren Oberflächen etwas aufzurauen. Eine gute Verklebung ist wichtig, weil dadurch die leitenden Verbindung des Leistungsaktors ermöglicht wird.

Vorteilhaft ist es, wenn die Verklebung des Gesamtstapels unter Druck erfolgt.

Der Gesamtstapel kann vor der vollständigen Aushärtung des Klebstoffes aus der Form genommen werden oder sie kann auch danach entfernt und weggeworfen werden. Es ist auch möglich, eine Teflonform zu verwenden.

Im weiteren soll die Erfindung an einem Ausführungsbeispiel erläutert werden.

Dabei zeigt Fig. 1 einen Ausschnitt aus einem Leistungsaktor mit Kühlung.

Fig. 2 zeigt aus der Draufsicht die Lage eines Einzelementes und einer Platte aus einer Metallegierung in einer Montageform.

Fig. 3 zeigt eine Bohrung im ringförmigen Teil des Einzelementes mit der überstehenden Platte aus einer Metallegierung.

Fig. 4 zeigt einen schematischen Schnitt durch einen Leistungsaktor mit Kühlung.

Aus einem "Hart"-PZT-Pulver mit niedrigen Verlusten werden Zylinder mit einem äußeren Durchmesser von 15 mm und einem Innenloch von 6 mm Durchmesser gepreßt. Die Preßhöhe beträgt etwa 25 mm. Die Preßlinge werden in einer geschlossenen Korundkapsel bei 1150°C 2 h gesintert. Nach dem Sintern besitzen die Zylinder folgende Abmessungen:

äußerer Durchmesser D_2 : 13 mm
Durchmesser der Innenbohrung D_1 : 5,2 mm
Höhe: 21,8 mm.

Sollten in die Einzelemente 1 zusätzliche Bohrun-

gen 4 eingebracht werden, so wird der gepreßte Zylinder bei 800°C 2 h verglüht und mittels eines Mehrfachspindelbohrkopfes werden die Bohrungen 4 in das weiche Material eingebracht. Anschließend erfolgt die Sinterung unter den genannten Bedingungen.

Aus den gesinterten Zylindern werden durch Trennschleifen Scheiben mit einer Dicke von 0,5 mm herausgetrennt. Zur technologischen Vereinfachung können mehrere Zylinder miteinander verklebt werden und so bei einem Schnitt gleich z. B. 15 Scheiben gleichzeitig hergestellt werden.

Die Scheiben werden nach der Säuberung mit Poliersilber 3 auf der Ober- und Unterseite kontaktiert und dann mit 3,5 kV/mm bei 125°C 30 Minuten gepolt. Die jeweilige Polungsrichtung ist an den Scheiben zu kennzeichnen.

Zur Herstellung der ringförmigen Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung 2 werden aus einem Cu-Bronze-Blech von 100 µm Dicke die Platten 2 herausgestanzt. Sie werden in Form eines Kreissegments von 270° mit einem Durchmesser von 13 mm mit einer tangential dazu auslaufenden abgerundeten Ecke von 90° hergestellt. Die größte Abmessung = Rundung der Ecke bis Kreisbogen beträgt 15,5 mm. Die konzentrische Bohrung in der Mitte des Kreissegmentes hat einen Durchmesser von 2,5 mm. Vor dem Stanzen ist das Blech auf beiden Seiten durch Sandstrahlen aufgeraut worden.

Die Montage des Leistungsaktors erfolgt in einer quadratischen Form 10 aus Teflon, deren Kantenlänge 13,2 mm beträgt. Das Aufeinanderstapeln erfolgt in folgender Reihenfolge (Draufsicht auf den Stapel):

1. Einzelelement 1 mit Polung + oben
2. Platte aus der Metallegierung mit Zunge 2 rechts unten
3. Einzelelement 1 mit Polung - oben
4. Platte aus der Metallegierung mit Zunge 2 links oben
5. Einzelelement 1 mit Polung + oben
6. Platte aus der Metallegierung mit Zunge 2 rechts unten
7. Einzelelement 1 mit Polung - oben
8. Platte aus der Metallegierung mit Zunge 2 links oben

bis zum Erreichen der Gesamtstapelhöhe von 31 mm bei Verwendung von 50 Einzelelementen 1 mit den jeweiligen Platten aus der Metallegierung 2 dazwischen.

Die Einzelelemente 1 werden mit den Platten aus der Metallegierung 2 mit heißhärtendem Epoxidharz verklebt. Nach jeder Klebung ist der Stapel anzudrücken und nach Erreichen der Gesamtstapelhöhe nochmals mit einem Druck von 2000 N/cm² zu belasten. Danach erfolgt die Aushärtung des Klebers bei 120°C 2 h. Der Gesamtstapel kann aus der Teflonform 10 leicht ausgestoßen werden. Die Stapelhöhe, d. h. die Anzahl der Schichten richtet sich nach der gewünschten Dehnung (0,9% bei 2 kV/mm). Die Dicke der Elektroden und etwas Dehnungsverlust muß dabei berücksichtigt werden.

An den jeweils nach einer Seite zeigenden Zungen der Platten aus der Metallegierung 2 werden nun jeweils eine Steigleitung 7 mittels Lötung 6 angebracht, indem die Cu-Litze (Steigleitung 7) an der oberen und unteren Platte aus der Metallegierung 2 unter Zugspannung festgeklemt wird. Die gesamte Anschlußseite wird mittels Tauchlötung befestigt.

Der so erfindungsgemäß hergestellte erfindungsge-

mäße piezoelektrische Leistungsaktor besitzt bei 1000 Volt eine Dehnung von 21 µm. Seine Kapazität beträgt 111 nF. Gegenüber einem vergleichbaren Leistungsaktor aus "Weich"-PZT nach dem Stand der Technik kann er bei gleicher Eigenerwärmung mit einer Frequenz von 30 kHz betrieben werden. Die Effektivität kann mit strömender Luft als Kühlmedium noch vergrößert werden.

Patentansprüche

1. Piezoelektrischer Leistungsaktor mit Kühlung aus PZT, bei dem ein Einzelelement (1) aus einer gepolten ringförmigen PZT-Keramikplatte mit Kontaktmaterial (3) auf der Ober- und Unterseite der gepolten ringförmigen PZT-Keramikplatte besteht und mehrere derartige Einzelelemente (1) übereinander gestapelt sind und bei dem zwischen den Einzelelementen (1) jeweils eine ringförmige Platte aus einem Metall oder einer Metallegierung (2) fest angeordnet ist, deren Bohrungen zentrisch mit den Bohrungen (4, 5) in den Einzelelementen (1) übereinstimmen, wobei der Durchmesser der Bohrungen in den Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung (2) jeweils kleiner ist als der Durchmesser der Bohrungen (4, 5) in den Einzelelementen (1), und bei dem der äußere Durchmesser der ringförmigen Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung (2) ganz oder teilweise größer ist als der äußere Durchmesser der Einzelelemente (1) und bei dem die Parallelschaltung des piezoelektrischen Leistungsaktors über die Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung (2) durch abwechselnde Verbindung (7) an ihren äußeren Rändern erfolgt.

2. Piezoelektrischer Leistungsaktor nach Anspruch 1, bei dem der äußere überstehende Teil (9) der Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung (2) gegenüber den Einzelelementen (1) als Zunge ausgebildet ist, derart, daß die Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung (2) die Form eines 270° Kreissegmentes mit gleichem äußeren Durchmesser wie die Einzelelemente (1) haben, welches tangential in eine abgerundete Ecke von 90° aus läuft.

3. Piezoelektrischer Leistungsaktor nach Anspruch 1, bei dem in den gepolten ringförmigen PZT-Keramikplatten (1) und zentrisch dazu in den ringförmigen Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung (2) weitere Bohrungen (4) angeordnet sind, wobei der Durchmesser der Bohrungen (4) in den PZT-Keramikplatten (1) größer ist als der Durchmesser der Bohrungen in den Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung (2).

4. Piezoelektrischer Leistungsaktor nach Anspruch 1 und 3, bei dem die mittlere Bohrung (5) und/oder die Bohrungen (4) als Kanal für die Durchleitung eines strömenden Mediums verwendet sind.

5. Piezoelektrischer Leistungsaktor nach Anspruch 1, bei dem als PZT-Material ein "Hart-PZT-Material" insbesondere für höhere Frequenzen von ≥ 5 kHz eingesetzt ist.

6. Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Leistungsaktors mit Kühlung aus PZT, bei dem in eine Form (10) mit einem zylindrischen oder quadratischen Querschnitt abwechselnd Einzelelemente (1) aus gepolten ringförmigen beidseitig kontaktierten PZT-Keramikplatten unter Beach-

tung der Polungsrichtung und ringförmige Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung (2) eingebracht und fest miteinander verbunden werden, wobei die Bohrungen (4, 5) in den Einzelementen (1) zentrisch mit den Bohrungen in den Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung (2) ausgerichtet werden und der Durchmesser der Bohrungen (4, 5) in den Einzelementen (1) größer ist als der Durchmesser der Bohrungen in den Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung (2) und wobei ringförmige Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung (2) mit einem äußeren Durchmesser der ganz oder teilweise größer ist als der äußere Durchmesser der Einzelemente (1) eingesetzt werden, und bei dem eine Parallelschaltung des piezoelektrischen Leistungsaktors durch abwechselnde Verbindung (7) der Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung (2) an ihren äußeren Rändern durchgeführt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem in den gepolten ringförmigen PZT-Keramikplatten (1) und zentrisch dazu in den ringförmigen Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung (2) weitere Bohrungen (4) eingebracht werden, wobei der Durchmesser der Bohrungen (4) in den PZT-Keramikplatten (1) größer ist als der Durchmesser der Bohrungen in den Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung (2).

8. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem in eine quadratische Form (10) abwechselnd Einzelemente (1) und ringförmige Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung (2) eingebracht und miteinander fest verbunden werden, wobei der äußere überstehende Teil der Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung (2) gegenüber den Einzelementen (1) als Zunge ausgebildet ist, derart, daß die Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung (2) die Form eines 270° Kreissegmentes mit gleichem äußeren Durchmesser wie die Einzelemente (1) haben, welches tangential in eine abgerundete Ecke von 90° ausläuft und wobei die Zunge abwechselnd in einem Winkel von 90° oder 180° zueinander versetzt eingebracht werden und die jeweils in eine Richtung zeigenden Zungen kontaktiert (6) und mit einer Steigleitung (7) miteinander zu einer Parallelschaltung der Einzelemente verbunden werden.

9. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem die feste Verbindung der Einzelemente (1) mit den Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung (2) durch Verkleben erfolgt.

10. Verfahren nach Anspruch 9, bei dem das Verkleben der Einzelemente (1) mit den Platten aus einem Metall oder einer Metallegierung (2) unter Druck durchgeführt wird.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

60

65

- Leerseite -

Fig. 1

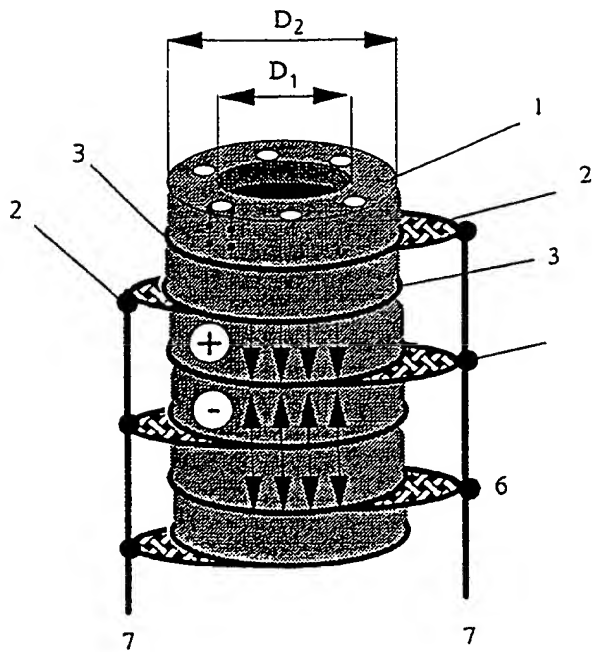


Fig. 2

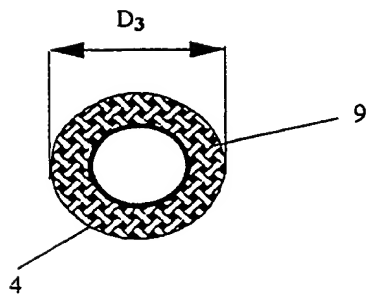
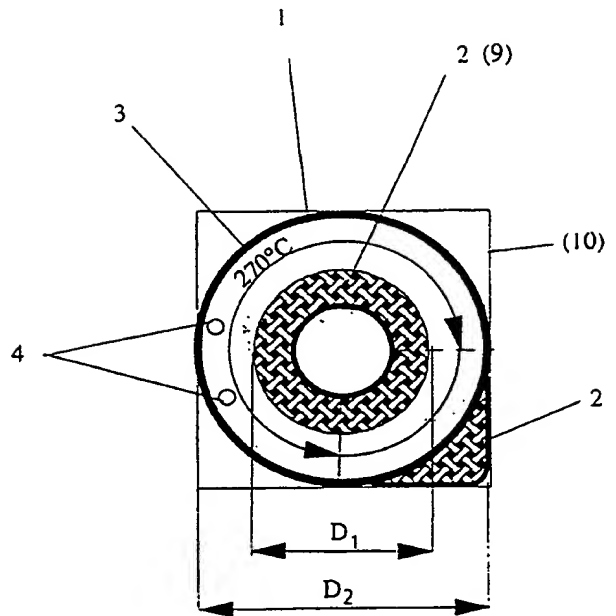


Fig. 3

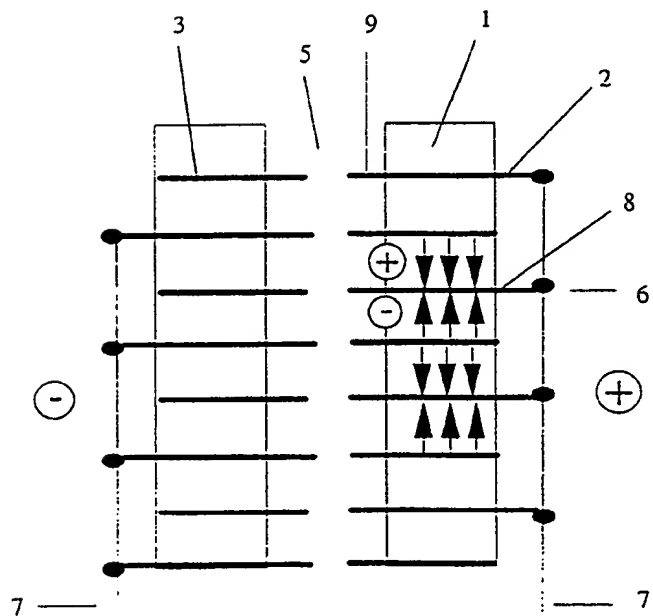


Fig. 4

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.